



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 199 14 455 B4 2005.07.14

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 199 14 455.9  
(22) Anmeldetag: 30.03.1999  
(43) Offenlegungstag: 26.10.2000  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 14.07.2005

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: A61B 19/00  
A61B 5/11, A61B 6/00, A61B 8/08,  
G06T 7/20

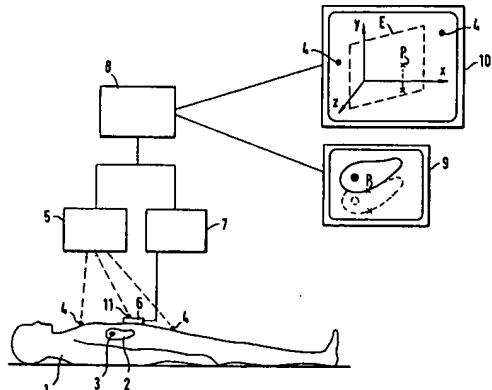
Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(71) Patentinhaber: Siemens AG, 80333 München, DE	(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften: DE 198 09 460 C1 DE 197 51 761 A1 DE 196 07 023 A1 WO 98/38 908 A1
(72) Erfinder: Feussner, Hubertus, Prof., 81679 München, DE; Wessels, Gerd, Prof., 91090 Effeltrich, DE	

(54) Bezeichnung: Verfahren zur Bestimmung der Bewegung eines Organs oder Therapiegebiets eines Patienten sowie hierfür geeignetes System

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Bestimmung der Bewegung eines Körperorgans oder Therapiegebiets eines Patienten,

- bei dem ein Navigationssystem (5) umfassend mehrere Sensoren verwendet wird, dessen patientenindividuelles Koordinatensystem mittels eines oder mehrerer am Patienten (1) an oder im Bereich ortsinvariante Körperteile angeordneter Sensoren (4) definiert wird,
- wobei die Lage wenigstens eines bezüglich des sich bewegenden Organs im wesentlichen ruhenden Sensors (11, 17) innerhalb des Koordinatensystems bestimmt wird, mit dessen Positionsdaten die Lage der Bildebene (E) eines zeitgleich aufgenommenen, an einem Monitor (9) wiedergegebenen Bildes des sich bewegenden Organs im Koordinatensystem ermittelt wird, oder bei dem die Lage der Bildebene (E) anhand der räumlichen Position des Bildaufnahmesystems bezüglich des Patienten bestimmt wird,
- wobei innerhalb des Bildes wenigstens ein Punkt (P) oder Abschnitt des sich bewegenden Organs definiert wird, dessen bewegungsbedingter Weg bestimmt und basierend hierauf wenigstens ein für den Bewegungsweg charakteristischer Punkt ermittelt und an einem Monitor (10) innerhalb...



Beschreibung	
Stand der Technik	
<b>[0001]</b> Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Bewegung eines Körperorgans oder Therapiegebiets eines Patienten.	ist, dass das transformierte Bild der Skalierung, der Rotation und der Position eines führenden Bildes, entspricht, das beispielsweise mit einer Videokamera aufgenommen wurde.
	<b>Aufgabenstellung</b>
<b>[0002]</b> Minimal-invasive Therapien erlangen zunehmend an Bedeutung. Hierbei wird versucht, den Eingriff in den Körper und damit die Belastung des Patienten so gering wie möglich zu halten. Sind minimal-invasive Therapien für ortsinvariante Körperbereiche oder Organe, z.B. im Bereich der Neurochirurgie oder der Orthopädie bereits weitverbreitet im Einsatz, so bereitet die Anwendung derselben beispielsweise für gezielte Manipulationen (z.B. Biopsie) an bewegten Organen Probleme. Im Gegensatz zur Manipulation an nichtbewegten Körperbereichen hat der minimal-invasive arbeitende Therapeut es z.B. im abdominalen Bereich mit bewegten Therapiegebieten zu tun, wobei die Bewegung beispielsweise durch die Atembewegung und Pulsation bzw. Peristaltik hervorgerufen wird. Um beispielsweise ein oder mehrere Instrumente (z.B. Laparoskop oder Nadeln) exakt auf ein gewünschtes Zielgebiet, z.B. eine Metastase in der Leber, auszurichten und diese Situation auch während der Bewegung des Organs zu gewährleisten, ist eine kontinuierliche Erfassung der Organbewegung erforderlich.	<b>[0005]</b> Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, ein Verfahren anzugeben, dass eine hinreichend genaue Erfassung der Organoder Gebietsbewegung ermöglicht, damit der Therapeut oder Operateur eine genaue Kenntnis bezüglich des interessierenden Organs oder Therapiegebiets erhält.
<b>[0003]</b> Aus der nachveröffentlichten deutschen Patentschrift DE 198 09 460 C1 ist ein medizinisches Zielgerät zur atemadaptierten Punktionspunktion eines nicht mit Ultraschall darstellbaren Ziels mit einer Punktionsseinrichtung, die mit einem Ultraschallapplikator verbunden ist, beschrieben. Dieses Zielgerät ist an einer Patientenliege eines Magnetresonanzgeräts längsverschiebbar angeordnet. Anhand von mittels des Ultraschallapplikators sowie der Magnetresonanzteinrichtung aufgenommenen Bildern des Untersuchungsobjekts kann die Punktionseinrichtung bezüglich des Punktionsgebiets ausgerichtet werden. Ferner sind als weiterer Stand der Technik die deutschen Patentanmeldungen DE 197 51 761 A1 und DE 196 07 023 A1 zu nennen.	<b>[0006]</b> Zur Lösung dieses Problems ist erfindungsgemäß ein Verfahren zur Bestimmung der Bewegung eines Organs oder Therapiegebiets eines Patienten vorgesehen,
<b>[0004]</b> Die Patentanmeldung WO 98/38908 A1 beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung, um Echtzeitbilder eines Objekts mit einer bildgebenden Modalität derart aufzunehmen und darzustellen, dass die Sichtlinie einer durch eine zweite bildgebende Modalität bestimmten Sichtlinie entspricht. Dazu wird mit der ersten bildgebenden Modalität eine Folgebild-Bibliothek des Objekts erstellt, mit der zweiten bildgebenden Modalität eine Bibliothek zum führenden Bild. Die beiden Bibliotheken werden referenziert, so dass bei Echtzeitaufnahmen eine Transformation des Folgebildes, das mit der ersten Modalität, z.B. Ultraschall, aufgenommen wurde, derart möglich	<ul style="list-style-type: none"> <li>– bei dem ein Navigationssystem umfassend mehrere Sensoren verwendet wird, dessen patientenindividuelles Koordinatensystem mittels eines oder mehrerer am Patienten an oder im Bereich ortsinvariante Körperteile angeordneter Sensoren definiert wird,</li> <li>– wobei die Lage wenigstens eines bezüglich des sich bewegenden Organs oder Therapiegebiets im wesentlichen ruhenden Sensors innerhalb des Koordinatensystems bestimmt wird, dessen Positionsdaten zur Ermittlung der Lage der Bildebene eines zeitlich aufgenommenen, an einem Monitor wiedergegebenen Bildes des sich bewegenden Organs oder Therapiegebiets im Koordinatensystem verwendet werden, oder bei dem die Lage der Bildebene anhand der räumlichen Position des Bildaufnahmesystems bezüglich des Patienten bestimmt wird,</li> <li>– wobei innerhalb des Bildes wenigstens ein Punkt oder Abschnitt des sich bewegenden Organs oder Therapiegebiets definiert wird, dessen bewegungsbedingter Weg bestimmt und basierend hierauf wenigstens ein für den Bewegungsweg charakteristischer Punkt ermittelt und an einem gegebenenfalls weiteren Monitor innerhalb des dort dargestellten Koordinatensystems zusammen mit der Lage der Bildebene angezeigt wird.</li> </ul>
	<b>[0007]</b> Als Grundlage für das erfindungsgemäß Verfahren dient ein Navigationssystem zum Erfassen verschiedener Sensoren, die als Positionsgeber dienen. Das Koordinatensystem des Navigationssystems, innerhalb welchem die Lage der Sensoren ermittelt wird, wird für jeden Patienten individuell anhand eines oder mehrerer ortsinvariante, also unbewegter Körperteile definiert. Hierzu dienen bevorzugt knochennahe Bereiche wie beispielsweise das Sternum, die oberen Darmbeinstachel oder aber der obere Rand der Symphyse. Innerhalb dieses Koordinatensystems wird die Lage eines im wesentlichen ruhenden Sensors erfasst, über welchen die Lage einer

Bildebene eines zeitgleich Mittels eines Bildaufnahmeverfahrens aufgenommenen Bildes des sich bewegenden Organs oder Therapiegebiets ermittelt wird. Alternativ kann die Ebenenbestimmung auch anhand der räumlichen Position des Bildaufnahmesystems erfolgen. Das Koordinatensystem wie auch die Lage der Bildebene werden an einem Monitor ausgegeben, parallel dazu an einem gegebenenfalls weiteren Monitor das aufgenommene Bild. Auf diese Weise wird dem Arzt angezeigt, wo die Bildebene in Bezug auf das patientenindividuelle Koordinatensystem liegt, gleichzeitig erhält er durch das aufgenommene medizinische Bild Kenntnis von der zu behandelnden Struktur. Um nun Kenntnis über die Organ- oder Gebietsbewegung zu erhalten und eine bewegungsbezogene Information im Koordinatensystem wiedergeben zu können, kann der Arzt mit besonderem Vorteil einen Punkt oder einen Bereich an dem Organ, z.B. den Leberrand, oder in dem Gebiet wählen, wobei dies beispielsweise direkt am Bildmonitor, der z.B. als Touchscreen ausgebildet sein kann, möglich ist. Auch eine Definition des Punktes oder der region of interest (ROI) mittels eines am Monitor anzeigbaren Cursors über einen Joystick ist denkbar. Hiernach wird rechnerisch die Position dieses ausgewählten Punktes im Koordinatensystem ermittelt und die Bewegung dieses ausgewählten Punktes ebenfalls erfasst. Im Monitor, an dem das Koordinatensystem gezeigt ist, wird dann beispielsweise entweder der gesamte Bewegungsweg kontinuierlich dargestellt, oder aber z.B. im Falle der Leber die jeweiligen Bewegungsumkehrpunkte. Der Arzt erhält damit eine bewegungsbezogene Information, anhand welcher er in Korrelation mit der tatsächlichen Bewegung des Organs oder des Gebiets, wie er sie dem aufgenommenen Bild entnehmen kann, exakt bestimmen kann, zu welchem Zeitpunkt das Organ oder das Gebiet in der im Koordinatensystem angezeigten Position ist.

**[0008]** Gemäß einer Weitebildung der Erfindung wird neben der Bewegung des Körperorgans oder des Therapiegebiets auch die Bewegung wenigstens eines bezüglich des Organs oder Therapiegebiets zu führenden medizinischen Instruments erfasst, wobei an dem Monitor ebenfalls die Position des medizinischen Instruments, an dem wenigstens ein mittels des Navigationssystems erfassbarer Sensor angeordnet ist, im Koordinatensystem angezeigt wird.

**[0009]** Hiernach wird auch die Lage bzw. räumliche Stellung wenigstens eines medizinischen Instruments, z.B. einer Nadel, mittels des Navigationssystems erfasst. Am Instrument befindet sich ebenfalls ein Sensor, der die Detektion innerhalb des Koordinatensystems ermöglicht. Auch diese Position wird dem Arzt am Monitor angezeigt. Er erhält hierüber Kenntnis hinsichtlich der Position und Stellung des Instruments innerhalb des Koordinatensystems sowie bezüglich der Bildebene und damit auch bezüglich der ihm am anderen Monitor visuell angegebenen Struk-

tur, an der er z.B. die Metastase sieht. Aus der Kenntnis der Lage der Metastase oder dergleichen sowie der Position des medizinischen Instruments kann dieses dann trotz der Organ- oder Gebietsbewegung exakt in den gewünschten Bereich geführt werden.

**[0010]** Als besonders zweckmäßig hat es sich dabei erwiesen, wenn als Bild ein Ultraschallbild oder ein Röntgenbild aufgenommen wird, wobei im ersten Fall der im wesentlichen ruhende Sensor an dem zur Bildaufnahme verwendeten Ultraschallapplikator angeordnet ist. Die Position des Ultraschallapplikators definiert die Lage der Bildebene, was mit dem am Applikator befindlichen Sensor problemlos erfasst werden kann. Dabei kann erfindungsgemäß der Ultraschallapplikator außen am Patienten angesetzt werden, alternativ hierzu kann er auch über eine kleine Körperöffnung in den Patienten eingeführt und am sich bewegenden Organ oder dem sich bewegenden Gebiet angesetzt werden. Bei der Positionierung muss darauf geachtet werden, dass der ausgewählte Organpunkt oder -bereich (entsprechendes gilt be treffend das Therapiegebiet) nicht aus dem Bild wandert. Im Falle einer Röntgenbildaufnahme bestimmt sich die Lage der Bildebene im Koordinatensystem anhand der räumlichen Position der Systemkomponenten bzw. des Zentralstrahls. Die Bildebene sollte bevorzugt im wesentlichen in Richtung der Längsachse des sich bewegenden Organs oder Gebiets verlaufen, sofern eine solche definierbar ist.

**[0011]** Wie beschrieben, kann der Punkt oder der Abschnitt des sich bewegenden Organs oder Gebiets am Monitor definiert werden, beispielsweise mittels eines Lichtgriffels oder dergleichen, der Monitor kann auch als Touchscreen-Monitor ausgebildet sein. Ein entsprechender Algorithmus errechnet dann bei Kenntnis der Bildgrößenverhältnisse den Ist-Weg, den der ausgewählte Punkt oder Abschnitt im Koordinatensystem zurücklegt, so dass dieser dargestellt werden kann.

**[0012]** Neben dem beschriebenen Verfahren betrifft die Erfindung ferner ein hierzu alternatives Verfahren zur Bestimmung von Bewegungen eines Organs oder Therapiegebiets eines Patienten,

- bei dem ein Navigationssystem umfassend mehrere Sensoren verwendet wird, dessen Patienten individuelles Koordinatensystem mittels eines oder mehrerer am Patienten an oder im Bereich ortsinvarianter Körperteile angeordneter Sensoren definiert wird,
- wobei am sich bewegenden Organ oder Therapiegebiet wenigstens ein Sensor platziert wird, der vom Navigationssystem erfasst und dessen Position kontinuierlich an einem Monitor innerhalb des dort dargestellten Koordinatensystems angezeigt wird, oder dessen Positionsdaten zur Ermittlung wenigstens eines für den Bewegungsweg charakteristischen Punkt verwendet werden, der

an dem Monitor innerhalb des dort dargestellten Koordinatensystems angezeigt wird.

**[0013]** Auch hier kann in Weiterbildung ferner die Bewegung wenigstens eines bezüglich des sich bewegenden Körperorgans oder des Therapiegebiets zu führenden medizinischen Instruments erfasst werden, wobei am Monitor ebenfalls die Position des medizinischen Instruments, an dem wenigstens ein mittels des Navigationssystems erfasster Sensor angeordnet ist, im Koordinatensystem angezeigt wird.

**[0014]** Diese erfindungsgemäße Verfahrensvariante nutzt zur Ermittlung des Bewegungsweges einen unmittelbar an dem sich bewegenden Organ oder in dem Therapiebereich angebrachten Sensor, der also operativ eingebracht wird. Dessen kompletter Weg kann angezeigt werden, alternativ können auch hier aus dem Bewegungsweg ein oder mehrere charakteristische Weggipfel errechnet werden, die dann angezeigt werden, z.B. die beiden Umkehrpunkte eines sich bewegenden Organs. Primär kann in diesem Fall auf die gleichzeitige Aufnahme eines Bildes des Organs oder des Therapiebereichs verzichtet werden, da entsprechende Bilder in der Regel aufgrund von Voruntersuchungen des Organs oder des Bereichs vorliegen. Sofern der Arzt anhand dieser Bilder, die ihm zeitgleich visualisiert werden können, eine Korrelation des im visualisierten Bild gezeigten Behandlungsgebiets, z.B. einer Metastase oder dergleichen und der im Koordinatensystem gezeigten Lage des Organs sowie dessen Bewegung erstellen kann, ist es ihm möglich, trotz fehlender *in situ*-Darstellung des sich bewegenden Organs oder Gebiets das medizinische Instrument zielgenau zu führen. Jedoch ist es selbstverständlich möglich, zusätzlich ein Bild des sich bewegenden Organs oder des Therapiegebiets aufzunehmen und an einem gegebenenfalls weiteren Monitor auszugeben, wobei auch hier zweckmäßigweise ein Ultraschallbild aufgenommen werden kann. Hierdurch kann der Arzt eine noch bessere Abstimmung der Instrumentenbewegung auf den Bewegungszyklus erreichen. Die genaue Kontrolle, ob er das Instrument exakt in den relevanten Bereich geführt hat, erhält er in jedem Fall dann anhand des aufgenommenen Bildes, nämlich dann, wenn die Spitze des Instruments in die Bildebene eindringt, da sie dann dort sichtbar wird.

**[0015]** Wie bereits beschrieben, sollte als ortsinvarianter Punkt ein knochennaher Punkt auf der Haut des Patienten gewählt werden. Um für spätere Untersuchungen die Möglichkeit zu schaffen, das Koordinatensystem wieder gemäß dem System im Rahmen der vorherigen Untersuchung einzurichten zu können, kann erfindungs- gemäß vorgesehen sein, dass der oder die ausgewählten Punkte zunächst mittels einer Punktionskanüle markiert werden und anschließend ein die Lage der Punktionskanülen dokumentierendes Bild, insbesondere ein Röntgenbild aufgenom-

men wird, wonach die Punkte durch Einbringen einer Markierungslösung in die Kanülen und anschließend das Entfernen derselben dauerhaft markiert werden.

**[0016]** Der Operateur oder Therapeut kann, infolge der ihm aufgrund der erfindungsgemäßen Verfahrensvarianten gegebenen Informationen, das oder die Instrumente manuell selbst führen. Die verfahrensgemäß ermittelten Informationen ermöglichen es mit besonderem Vorteil jedoch auch, dass basierend auf der im Koordinatensystem erfassten Bewegung des Organs oder des Therapiegebiets ein das oder die medizinischen Instrumente führender Roboter oder dergleichen und damit die Bewegung des oder der Instrumente gesteuert wird, wobei seitens des Navigationssystems die räumliche Stellung des oder der medizinischen Instrumente bestimmt wird. Die ermittelten räumlichen Lageoder Positionsdaten können gemäß dieser Erfindungsausgestaltung zur Steuerung eines Roboters oder dergleichen verwendet werden, der dann das oder die Instrumente exakt ins Ziel führt. Die Größen der einzelnen Instrumente, z.B. die Länge der Nadeln sind bekannt, so dass abhängig von der Lage des jeweiligen Sensors am Instrument exakt die Lage des Nadelkopfes berechnet werden kann, so dass die räumliche Nadelstellung genauestens bestimmt und angezeigt werden kann. Entsprechend erfolgt natürlich auch die Bestimmung und Darstellung der Instrumentenstellung im Falle der manuellen Führung. Als Sensoren können erfindungsgemäß elektro-magnetische, optische oder akustische Sensoren verwendet werden. Schliesslich besteht noch die Möglichkeit, das aufgenommene Organ oder das Therapiegebiet segmentiert am Monitor darzustellen.

**[0017]** Neben den erfindungsgemäßen Verfahren betrifft die Erfindung ferner ein System zur Bestimmung der Bewegung eines Organs oder Therapiegebiets eines Patienten, umfassend:

- ein Navigationssystem umfassend mehrere Sensoren, dessen patientenindividuelles Koordinatensystem mittels eines oder mehrerer am Patienten an oder im Bereich ortsinvarianter Körperteile angeordneter Sensoren definierbar ist,
- ein Bildaufnahmesystem zum Aufnehmen eines Bildes des sich bewegenden Organs oder des Therapiegebiets,
- eine Recheneinrichtung zum Ermitteln der Lage der Bildebene des Zeitgleichmittels des Bildaufnahmesystems aufgenommenen, an einem Monitor wiedergegebenen Bildes des sich bewegenden Organs oder Therapiegebiets im Koordinatensystem anhand der Positionsdaten eines im wesentlichen ruhenden Sensors, dessen Lage innerhalb des Koordinatensystems mittels des Navigationssystems bestimmbar ist, oder anhand der räumlichen Position des Bildaufnahmesystems bezüglich des Patienten, sowie
- Mittel zum Auswählen wenigstens eines Punk-

tes oder Abschnitts des sich bewegenden Organs oder des Therapiegebiets innerhalb des Bildes, dessen bewegungsbedingter Weg seitens der oder einer Recheneinrichtung bestimbar und basierend hierauf wenigstens ein für den Bewegungsweg charakteristischer Punkt ermittelbar und an einem gegebenenfalls weiteren Monitor innerhalb des dort dargestellten Koordinatensystems zusammen mit der Lage der Bildebene anzeigbar ist.

**[0018]** Es kann ferner wenigstens ein mit wenigstens einem vom Navigationssystem erfassbaren Sensor versehenes, bezüglich des sich bewegenden Organs oder des Therapiegebiets zu führendes medizinisches Instrument umfassen, dessen Position seitens des Navigationssystems bestimbar und an dem Monitor im Koordinatensystem anzeigbar ist.

**[0019]** Ein erfindungsgemäßes, zum beschriebenen System alternatives System umfasst folgende Komponenten:

- ein Navigationssystem umfassend mehrere Sensoren, dessen patientenindividuelles Koordinatensystem mittels eines oder mehrerer, am Patienten an oder im Bereich ortsinvarianter Körperteile angeordneter Sensoren definierbar ist, sowie
- wenigstens einen direkt am sich bewegenden Organ oder dem Therapiegebiet platzierbaren Sensor, dessen Lage innerhalb des Koordinatensystems seitens des Navigationssystems bestimbar und an einem Monitor anzeigbar ist,

wobei auch dieses System wenigstens ein mit wenigstens einem vom Navigationssystem erfassbaren Sensor versehenes, bezüglich des sich bewegenden Organs oder des Therapiegebiets zu führendes medizinisches Instrument umfasst, dessen Position seitens des Navigationssystems bestimbar und an dem Monitor im Koordinatensystem anzeigbar ist. Dieses System dient zur Durchführung der vorbeschriebenen zweiten Verfahrensvariante, während das beschriebene System gemäß der ersten Erfindungsausgestaltung zur Durchführung des Verfahrens gemäß der ersten Erfindungsalternative dient.

**[0020]** Neben weiteren, den jeweiligen Unteransprüchen entnehmbaren vorteilhaften Erfindungsausgestaltungen sieht eine besonders zweckmäßige Weiterbildung vor, dass das jeweilige System wenigstens einen Roboter oder dergleichen umfasst, der wenigstens ein medizinisches Instrument führt, und der in Abhängigkeit der im Koordinatensystem erfassten Bewegung des Organs steuerbar ist, wobei seitens des Navigationssystems die räumliche Stellung des oder der medizinischen Instrumente bestimbar ist. Wenngleich zur Durchführung der jeweiligen Rechen- oder Bestimmungsprozeduren sowie auch zur Steuerung des Roboters jeweils unterschiedliche Recheneinrichtungen verwendet werden

können, kann für diese Aufgaben auch lediglich eine zentrale Recheneinrichtung vorgesehen sein.

#### Ausführungsbeispiel

**[0021]** Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den im folgenden beschriebenen Ausführungsbeispielen sowie anhand der Zeichnungen. Dabei zeigen:

**[0022]** Fig. 1 eine Prinzipskizze zur Darstellung der Bewegungserfassung eines Organs,

**[0023]** Fig. 2 eine Prinzipskizze zur Darstellung der Instrumentenführung basierend auf der Bewegungserfassung des Organs,

**[0024]** Fig. 3 eine Prinzipskizze zur Darstellung einer zweiten Möglichkeit zur Bewegungserfassung eines Organs, und

**[0025]** Fig. 4 eine Prinzipskizze zur Darstellung einer dritten Möglichkeit zur Bewegungserfassung eines Organs.

**[0026]** Fig. 1 zeigt einen auf einer nicht dargestellten Liege befindlichen Patienten 1, dessen Leber 2 eine zu therapiierende Metastase 3 besitzt. Am Patienten 1 sind mehrere Sensoren 4 oberflächlich angebracht, im gezeigten Ausführungsbeispiel befindet sich ein erster im Bereich des Unterrandes des Brustbeins, ein zweiter befindet sich im Bereich des oberen Darmbeinstachels, wobei natürlich auch gegenüberliegend am anderen Darmbeinstachel ein weiterer Sensor sein kann. Diese beiden Sensoren werden mittels eines Navigationssystems 5 in ihrer Lage erfasst. Sie dienen zum Aufspannen eines patientenindividuellen Koordinatensystems, innerhalb welchem die Bewegung des sich atmungs- oder pulsationsbedingt bewegenden inneren Organs des Patienten, welches zu therapiieren ist (hier der Leber 2) erfasst und bestimmt wird. Die Lage der x-, y- und z-Achse des Koordinatensystems bestimmt sich anhand der Lage der Sensoren 4. Zum Aufspannen des Koordinatensystems ist mindestens ein Sensor 4 erforderlich, mehrere Sensoren 4 sind der Genauigkeit dienlich. Die Sensoren 4 sind an ortsinvarianten Körperteilen angeordnet, wozu sich knochennahe Bereiche anbieten. Mittels eines Ultraschallapplikators 6, der Teil eines Ultraschallbildsystems 7 ist, wird ein Ultraschallbild der Leber aufgenommen, wobei die Bildebene im wesentlichen in Richtung der Längsachse der Leber 2 verlaufen sollte. Die mittels des Ultraschallbildsystems aufgenommenen Bilddaten werden an eine zentrale Recheneinrichtung 8 gegeben, schließlich werden sie an einem Monitor 9 in Form des Ultraschallbildes ausgegeben. In diesem ist deutlich die Bewegung der Leber 2 zu sehen, wie in Fig. 1 dargestellt ist.

**[0027]** Um nun die Bewegung der Leber 2 innerhalb des Koordinatensystems erfassen und darstellen zu können wird am Monitor 9 vom Operateur oder Therapeuten zunächst ein Punkt P am Organ gewählt, im gezeigten Beispiel der untere Leberrand. Dies kann beispielsweise dadurch erfolgen, dass der Monitor 9 als Touchscreen-Monitor ausgebildet ist. Dieser Punkt P wird nun hinsichtlich seiner Bewegung verfolgt und mittels der Rechnereinrichtung 8 der Bewegungsweg bestimmt. Die Darstellung dieses Weges erfolgt an einem weiteren Monitor 10, an dem ebenfalls das Koordinatensystem, innerhalb welchem der Bewegungsweg bestimmt wird, dargestellt wird, was hier exemplarisch durch die drei Raumachsen "x, y, z" dargestellt ist. Neben den Koordinatenachsen sind ferner die beiden Positionen der Sensoren 4 dargestellt, welche als ortsinvariante Bezugspunkte für die Bewegung des Organs bzw. des charakteristischen Bewegungspunktes dienen. Um die Raumrichtung des Bewegungsweges des ausgewählten Punktes innerhalb des Koordinatensystems erkennen zu können ist ferner am Ultraschallapplikator 6 ein weiterer Sensor 11 vorgesehen, über welchen die Lage der Bildebene E des aufgenommenen Ultraschallbildes bestimmt wird. Auch die Bildebene E wird am Monitor 10 ausgegeben, wie dort exemplarisch angedeutet ist. Innerhalb des Koordinatensystems und innerhalb der Bildebene E wird dann der ausgewählte charakteristische Punkt P dargestellt, wobei im gezeigten Beispiel die jeweiligen bewegungsbedingten Endlagen, also die Bewegungsumkehrpunkte gezeigt sind. Zwischen diesen beiden Punkten bewegt sich also das Organ, hier die Leber. Der Operateur oder Therapeut kann anhand dieser Darstellung in Verbindung mit dem ihm gezeigten Ultraschallbild zweifelsfrei auf die jeweilige Momentanlage der Leber schließen, ferner dahingehend, wie die Position derselben im patientenindividuellen Koordinatensystem ist.

**[0028]** Damit nun ein Operateur oder Therapeut ein medizinisches Instrument zum Behandeln des Organs exakt zu diesem und im gezeigten Beispiel zur Metastase 3 führen kann, ist einerseits die exakte Kenntnis der Organbewegung erforderlich, wie er sie nach dem Verfahren, wie bezüglich **Fig. 1** beschrieben, erhält. Zum anderen ist ferner die räumliche Lage des medizinischen Instruments im patientenindividuellen Koordinatensystem zu bestimmen, damit der Operateur oder Therapeut erkennen kann, welche räumliche Position das Instrument bezüglich des sich bewegenden Organs gerade einnimmt, und in welcher Richtung er selbiges führen muss. Zu diesem Zweck ist an dem medizinischen Instrument 12, im gezeigten Beispiel eine Nadel, ein Sensor 13 vorgesehen, welche ebenfalls mittels des Navigationssystems 5 erfasst wird. Die Rechnereinrichtung 8 ist nun in der Lage, die räumliche Stellung des Instruments 12 im Koordinatensystem zu ermitteln und am Monitor 10 auszugeben. Für den Operateur ist dabei die Lage der Instrumentenspitze, die er zur Metasta-

se 3 führen möchte, relevant, weshalb die Rechnereinrichtung 8 z.B. das Instrument 12 über seine gesamte Länge abbildet, wobei der Rechnereinrichtung 8 diese bekannt ist. Der Operateur kann nun anhand der Darstellung am Monitor 10 exakt die räumliche Stellung des Instruments 12 innerhalb des Koordinatensystems und in Bezug auf die Bildebene E erkennen, so dass es ihm in Verbindung mit der Darstellung am Monitor 9 möglich ist, die Spitze des Instruments 12 exakt in den Zielbereich zu führen. Die Endkontrolle erfolgt letztlich darüber, dass die Spitze 12, wenn sie im Bereich der Metastase 3 angekommen ist, in der Regel im Ultraschallbild am Monitor 9 sichtbar ist, da sie sich dann in der Bildebene E befindet. Auf diese Weise kann der Operateur oder Therapeut manuell das Instrument 12 führen.

**[0029]** Aus der Kenntnis der Bewegung des Organs und der Erfassung derselben innerhalb des Koordinatensystems ist es daneben aber auch möglich, einen Roboter 14 oder dergleichen, an dem ein medizinisches Instrument, z.B. eine Nadel, angeordnet ist, in seiner Bewegung zu steuern, d.h., in diesem Fall wird das Instrument 15 nicht manuell, sondern automatisch mittels des Roboters 14 geführt. Die Steuerung des Roboters 14 erfolgt im gezeigten Beispiel über die Recheneinrichtung 8, über welche der Roboter 14 die entsprechenden Steuerinformationen hinsichtlich der jeweiligen Bewegungen in x-, y- und z-Richtung sowie der Raumwinkel  $\alpha$ ,  $\beta$  und  $\gamma$  bezüglich der Raumachsen erhält. Auch in diesem Fall ist es denkbar, die räumliche Stellung des Instruments 15 am Monitor 10 in das Bild einzublenden, wenngleich dies hier nicht unbedingt erforderlich ist, da die Instrumentenführung automatisch gesteuert wird. Am Roboter 14 können auch mehrere in ihrer Bewegung separat steuerbare Instrumente angeordnet sein.

**[0030]** **Fig. 3** zeigt eine weitere Möglichkeit zur Erfassung der Organbewegung. Neben den auch hier verwendeten Sensoren 4 kommt hier ein direkt auf die Leber 2 außenseitig aufgebrachter Sensor 16, welcher im Rahmen eines kleinen operativen Eingriffs dort angesetzt wurde, zum Einsatz. Da sich dieser unmittelbar mit der Leber bewegt, ist eine Erfassung eines Ultraschallbildes der Leber 2 primär nicht erforderlich. Denn die Erfassung der Bewegung des Sensors 16 mittels des Navigationssystems 5 ermöglicht es der Recheneinrichtung 8 unmittelbar, den Bewegungsweg des Sensors 16 innerhalb des Koordinatensystems am Monitor 10 darzustellen. Der Operateur oder Therapeut kann bereits anhand dieser Kenntnis ein hier nicht näher dargestelltes Instrument bezüglich der Leber 2 führen, sofern ihm aufgrund von Voruntersuchungen entsprechende Bildaufnahmen der Leber und damit der Metastasenlage vorliegen. Sofern er mittels dieser früheren Bildaufnahmen eine Korrelation der Metastasenlage mit der Lage und Bewegung des Sensors 16 vornehmen kann, ist es ihm möglich, das Instrument in das Zielgebiet zu

führen. Wie **Fig. 3** zeigt, ist es dennoch möglich und sinnvoll, mittels des Ultraschallsystems 7 eine in situ-Bildaufnahme vorzunehmen. Wenngleich in **Fig. 3** nicht dargestellt, ist es möglich, die durch die Erfassung des Sensors 11 bestimmbarer Lage der Bildebene am Monitor 10 auszugeben. Da die Erfassung des medizinischen Instruments sowohl im manuellen als auch im automatischen Fall entsprechend dem bezüglich **Fig. 2** beschriebenen Ausführungsbeispiel erfolgt, ist ein näheres Eingehen hierauf an dieser Stelle nicht erforderlich.

**[0031]** Schließlich zeigt **Fig. 4** eine dritte Möglichkeit der Erfassung der Organbewegung. Diese Möglichkeit entspricht vom Prinzip her der Ausgestaltung gemäß **Fig. 1**, jedoch wird bei diesem Ausführungsbeispiel der Ultraschallapplikator 6 des Ultraschallsystems 7 unmittelbar auf der Leber 2 aufgesetzt und nicht wie im Beispiel nach **Fig. 1** auf der Oberfläche der Bauchdecke. Hierzu wird der Ultraschallapplikator 6 über eine kleine Körperöffnung in den Bauchraum geschoben. Er bewegt sich jedoch ebenfalls nicht mit der Leber, sondern ist bezüglich dieser unbewegt, d.h., auch der Sensor 17 (wie auch der Sensor 11 in **Fig. 1**) ruhen bezüglich der sich bewegenden Leber. Die Bestimmung des Bewegungsweges erfolgt in gleicher Weise wie bezüglich **Fig. 1** beschrieben. Dies gilt auch betreffend die Erfassung der hier ebenfalls nicht dargestellten, manuell oder maschinell zu führenden Instrumente, dies erfolgt in gleicher Weise wie bezüglich **Fig. 2** beschrieben.

**[0032]** Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass das beschriebene Bildaufnahmesystem auch ein Röntgensystem sein kann. In diesem Fall erfolgt die Bestimmung der Bildebene anhand der Ausrichtung des Zentralstrahls zwischen Röntgenröhre und Röntgenempfänger bezüglich des Patienten in Bezug auf das auch in diesem Fall mittels entsprechender Sensoren definierte patientenindividuelle Koordinatensystem. Ferner ist darauf hinzuweisen, dass die jeweilige Bestimmung der räumlichen Lage der Sensoren jeweils mittels des Navigationssystems erfolgt, wobei die diesbezüglichen Rechenoperationen in der zentralen Recheneinrichtung 8 durchgeführt werden, die zur Durchführung dieser Rechenoperationen einen entsprechenden Rechnermodul besitzt. Selbstverständlich ist es auch möglich, anstelle einer zentralen Recheneinrichtung auch separate, dem Navigationssystem und dem Bildaufnahmesystem zugeordnete Rechnereinrichtungen zu verwenden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Bewegung eines Körperorgans oder Therapiegebiets eines Patienten,  
– bei dem ein Navigationssystem (5) umfassend mehrere Sensoren verwendet wird, dessen patientenindividuelles Koordinatensystem mittels eines

oder mehrerer am Patienten (1) an oder im Bereich ortsinvarianter Körperteile angeordneter Sensoren (4) definiert wird,

– wobei die Lage wenigstens eines bezüglich des sich bewegenden Organs im wesentlichen ruhenden Sensors (11, 17) innerhalb des Koordinatensystems bestimmt wird, mit dessen Positionsdaten die Lage der Bildebene (E) eines zeitgleich aufgenommenen, an einem Monitor (9) wiedergegebenen Bildes des sich bewegenden Organs im Koordinatensystem ermittelt wird, oder bei dem die Lage der Bildebene (E) anhand der räumlichen Position des Bildaufnahmesystems bezüglich des Patienten bestimmt wird,  
– wobei innerhalb des Bildes wenigstens ein Punkt (P) oder Abschnitt des sich bewegenden Organs definiert wird, dessen bewegungsbedingter Weg bestimmt und basierend hierauf wenigstens ein für den Bewegungsweg charakteristischer Punkt ermittelt und an einem Monitor (10) innerhalb des dort dargestellten Koordinatensystems zusammen mit der Lage der Bildebene (E) angezeigt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei zusätzlich zur Bewegung des Körperorgans oder des Therapiegebiets die Bewegung wenigstens eines bezüglich des Körperorgans oder des Therapiegebiets zu führenden medizinischen Instruments (12, 15) erfasst wird, wobei an dem Monitor (10) ebenfalls die Position des medizinischen Instruments (12, 15), an dem wenigstens ein mittels des Navigationssystems (5) erfasster Sensor (13) angeordnet ist, im Koordinatensystem angezeigt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei als Bild ein Ultraschallbild oder ein Röntgenbild aufgenommen wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der im wesentlichen ruhende Sensor (11, 17) an dem zur Bildaufnahme verwendeten Ultraschallapplikator (6) angeordnet ist.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei der Ultraschallapplikator (6) außen am Patienten (1) ange setzt wird, oder dass der Ultraschallapplikator (6) in den Patienten (1) eingeführt und am sich bewegenden Organ angesetzt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Bildebene im wesentlichen in Richtung der Längsachse des sich bewegenden Organs verläuft.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Punkt (P) oder der Abschnitt des sich bewegenden Organs am Monitor (9) definiert wird.

8. Verfahren zur Bestimmung der Bewegung eines Körperorgans oder Therapiegebiets eines Patienten,  
– bei dem ein Navigationssystem (5) umfassend

mehrere Sensoren verwendet wird, dessen patientenindividuelles Koordinatensystem mittels eines oder mehrerer am Patienten (1) an oder im Bereich ortsinvarianter Körperteile angeordneter Sensoren (4) definiert wird,

– wobei am sich bewegenden Organ wenigstens ein Sensor (16) platziert wird, der vom Navigationssystem (5) erfasst und dessen Position kontinuierlich an einem Monitor (10) innerhalb des dort dargestellten Koordinatensystems angezeigt wird, oder dessen Positionsdaten zur Ermittlung wenigstens eines für den Bewegungsweg charakteristischen Punktes verwendet werden, der an dem Monitor (10) innerhalb des dort dargestellten Koordinatensystems angezeigt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei zusätzlich zur Bewegung des Körperorgans oder des Therapiegebiets die Bewegung wenigstens eines bezüglich des Körperorgans oder des Therapiegebiets zu führenden medizinischen Instruments (12) erfasst wird, wobei an dem Monitor (10) ebenfalls die Position des medizinischen Instruments (12), an dem wenigstens ein mittels des Navigationssystems (5) erfasster Sensor (13) angeordnet ist, im Koordinatensystem angezeigt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, wobei zusätzlich ein Bild des sich bewegenden Organs aufgenommen und an einem Monitor (9) ausgegeben wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei als Bild ein Ultraschallbild aufgenommen wird.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, wobei die Bildebene (E) im wesentlichen in Richtung der Längsachse des sich bewegenden Organs verläuft.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei als ortsinvarianter Punkt ein knochennaher Punkt auf der Haut des Patienten (1) gewählt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei der oder die ausgewählten Punkte zunächst jeweils mittels einer Punktionskanüle markiert werden und anschliessend ein die Lage der Punktionskanüle oder -kanülen dokumentierendes Bild aufgenommen wird, wonach die Punkte durch Einbringen einer Markierungslösung in die Kanüle oder Kanülen und anschliessendes Entfernen derselben dauerhaft markiert werden.

15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei das die Lage der Punktionskanüle oder -kanülen dokumentierende Bild ein Röntgenbild ist.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, wobei basierend auf der im Koordinatensystem erfassten Bewegung des Organs ein das oder die medizinischen Instrumente (15) führender Roboter und damit die Bewegung des oder der Instrumente

(15) gesteuert wird, wobei seitens des Navigationssystems (5) die räumliche Stellung des oder der medizinischen Instrumente (15) bestimmt wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, wobei als Sensoren (4, 11, 13, 16, 17) elektro-magnetische, optische oder akustische Sensoren verwendet werden.

18. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei am Monitor (9) das Körperorgan oder das Therapiegebiet segmentiert darstellbar ist.

19. System zur Bestimmung der Bewegung eines Körperorgans oder Therapiegebiets eines Patienten, umfassend:

– ein Navigationssystem (5) umfassend mehrere Sensoren, dessen patientenindividuelles Koordinatensystem mittels eines oder mehrerer am Patienten (1) an oder im Bereich ortsinvarianter Körperteile angeordneter Sensoren (4) definierbar ist, wobei seitens des Navigationssystems (5) die Lage wenigstens eines bezüglich des sich bewegenden Organs im wesentlichen ruhenden Sensors (11, 17) innerhalb des Koordinatensystems bestimbar ist,

– ein Bildaufnahmesystem (7) zum Aufnehmen eines Bildes des sich bewegenden Organs,

– eine Recheneinrichtung (8) zum Ermitteln der Lage der Bildebene (E) des zeitgleich mittels des Bildaufnahmesystems (7) aufgenommenen, an einem Monitor (9) wiedergegebenen Bildes des sich bewegenden Organs im Koordinatensystem anhand der Positionsdaten des im wesentlichen ruhenden Sensors (11, 17) oder der räumlichen Position des Bildaufnahmesystems bezüglich des Patienten,

– Mittel zum Auswählen wenigstens eines Punktes (P) oder Abschnitts des sich bewegenden Organs innerhalb des Bildes, dessen bewegungsbedingter Weg seitens der oder einer Recheneinrichtung (8) bestimbar und basierend hierauf wenigstens ein für den Bewegungsweg charakteristischer Punkt ermittelbar und an einem Monitor (10) innerhalb des dort dargestellten Koordinatensystems zusammen mit der Lage der Bildebene (E) anzeigbar ist.

20. System nach Anspruch 19, wobei das System wenigstens ein mit wenigstens einem vom Navigationssystem (5) erfassbaren Sensor (13) versehenes, bezüglich des sich bewegenden Organs zu führendes medizinisches Instrument (12, 15) umfasst, dessen Position seitens des Navigationssystems (5) bestimbar und an dem Monitor (10) im Koordinatensystem anzeigbar ist.

21. System nach Anspruch 19 oder 20, wobei das Bildaufnahmesystem (7) ein Ultraschallbildsystem oder ein Röntgenbildsystem ist.

22. System nach Anspruch 21, wobei der im wesentlichen ruhende Sensor (11, 17) an dem Ultra-

schallapplikator (6) des Ultraschallbildsystems (7) netische, optische oder akustische Sensoren sind. angeordnet ist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

23. System nach Anspruch 22, wobei der Ultraschallapplikator (6) ein außen am Patienten ansetzbarer oder ein in den Patienten einführbarer und am sich bewegenden Organ ansetzbarer Ultraschallapplikator ist.

24. System nach einem der Ansprüche 19 bis 23, wobei der Punkt (P) oder der Abschnitt des sich bewegenden Organs am Monitor (9) definierbar ist.

25. System nach Anspruch 24, wobei der Monitor (9) ein Touchscreen-Monitor ist.

26. System zur Bestimmung der Bewegung eines Körperorgans oder Therapiegebiets eines Patienten, umfassend:

- ein Navigationssystem (5) zum Erfassen von Sensoren, dessen patientenindividuelles Koordinatensystem mittels eines oder mehrerer am Patienten (1) an oder im Bereich ortsinvarianter Körperteile angeordneter Markierungssensoren (4) definierbar ist,
- wenigstens einen direkt am sich bewegenden Organ platzierbaren Sensor (16), dessen Lage innerhalb des Koordinatensystems seitens des Navigationssystems (5) bestimmbar und an einem Monitor (10) anzeigbar ist.

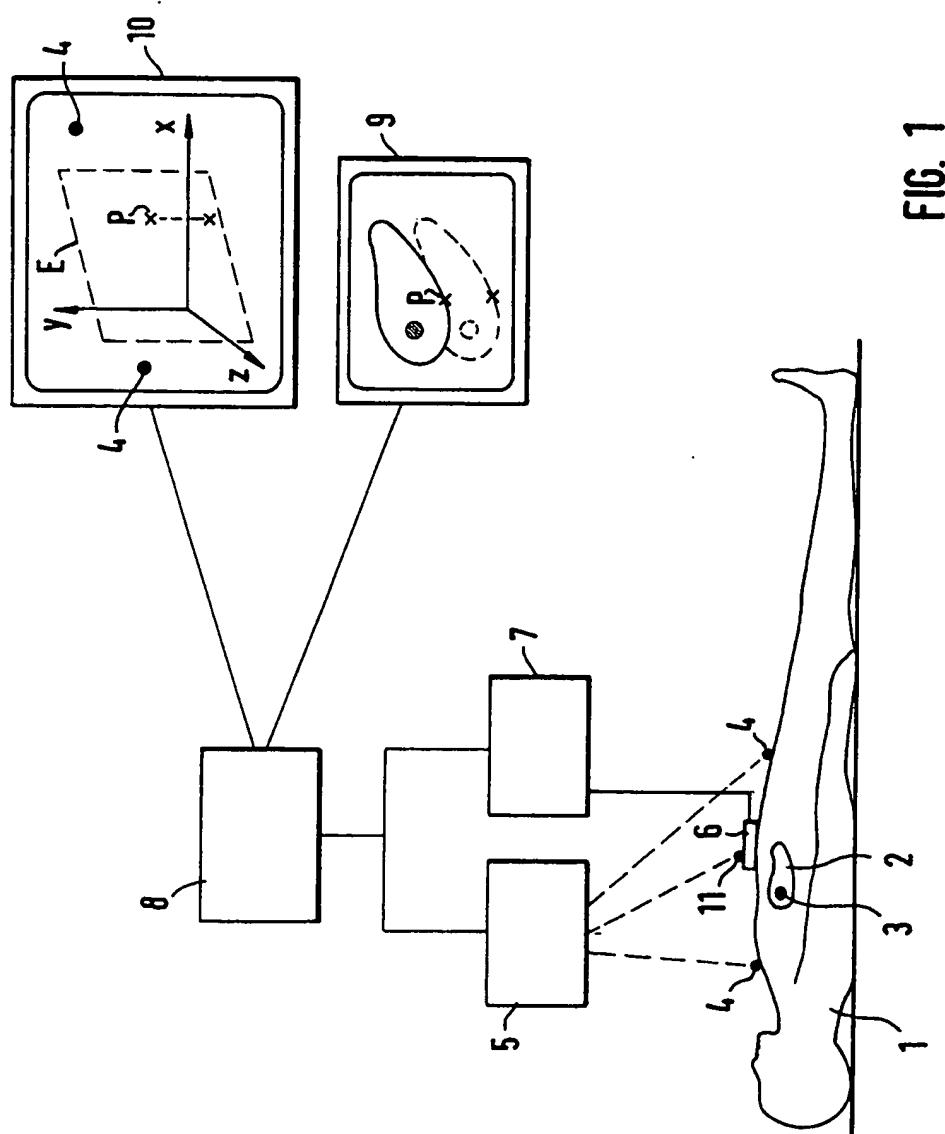
27. System nach Anspruch 26, wobei das System wenigstens ein mit wenigstens einem vom Navigationssystem (5) erfassbaren Sensor (13) versehenes, bezüglich des sich bewegenden Organs zu führendes medizinisches Instrument (12, 15) umfasst, dessen Position seitens des Navigationssystems (5) bestimmbar und an dem Monitor (10) im Koordinatensystem anzeigbar ist.

28. System nach Anspruch 26 oder 27, wobei das System ein Bildaufnahmesystem (7) zum Aufnehmen eines an dem Monitor (10) oder einem weiteren Monitor (9) ausgebaren Bildes des sich bewegenden Organs umfasst.

29. System nach Anspruch 28, wobei das Bildaufnahmesystem (7) ein Ultraschallbildsystem oder ein Röntgenbildsystem ist.

30. System nach einem der Ansprüche 19 bis 29, wobei das System wenigstens einen Roboter (14) umfasst, der wenigstens ein medizinisches Instrument (15) führt, und der in Abhängigkeit der im Koordinatensystem erfassten Bewegung des Organs steuerbar ist, wobei seitens des Navigationssystems (5) die räumliche Stellung des oder der medizinischen Instrumente (15) bestimmbar ist.

31. System nach einem der Ansprüche 19 bis 30, wobei die Sensoren (4, 11, 13, 16, 17) elektro-mag-



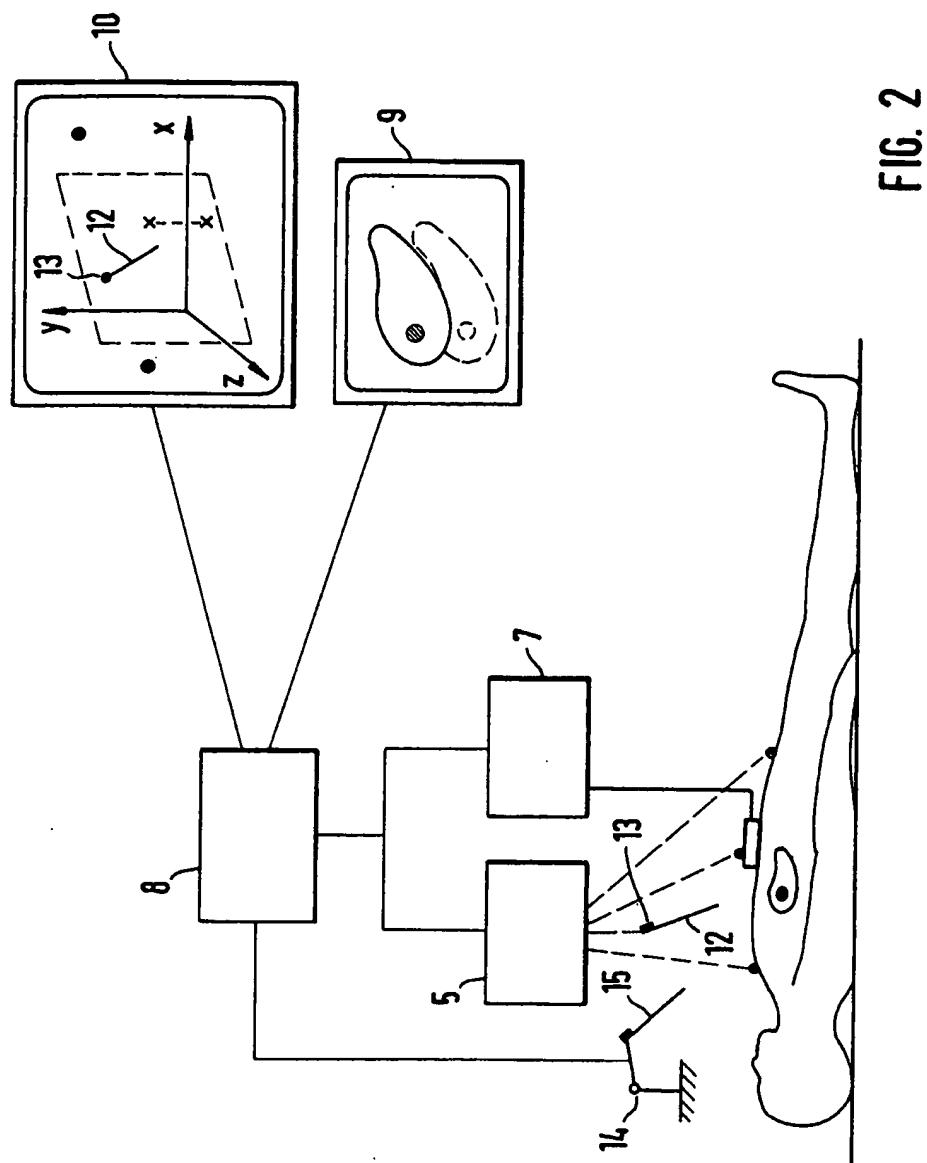


FIG. 2

